



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116950759 B

(45) 授权公告日 2025. 01. 07

(21) 申请号 202310433162.3

(22) 申请日 2023.04.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 116950759 A

(43) 申请公布日 2023.10.27

(30) 优先权数据  
PA202270220 2022.04.26 DK

(73) 专利权人 曼能解决方案(曼能解决方案德  
国股份公司)分公司  
地址 丹麦哥本哈根

(72) 发明人 里克·温贝里 基姆·詹森

(74) 专利代理机构 成都超凡明远知识产权代理  
有限公司 51258  
专利代理师 史二梅

(51) Int.Cl.

F02B 37/00 (2006.01)

F02B 37/12 (2006.01)

F02B 37/18 (2006.01)

F02D 23/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106068368 A, 2016.11.02

审查员 王萌

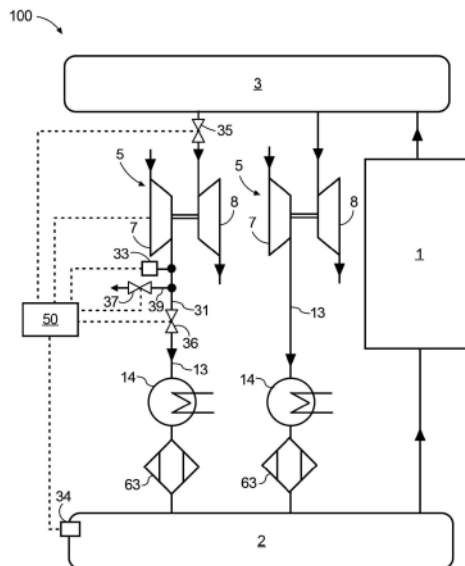
权利要求书4页 说明书11页 附图6页

(54) 发明名称

单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机及其操作方法

(57) 摘要

一种单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机(100)以及用于对这种发动机(100)进行操作的方法,该发动机具有控制器(50)和多个涡轮增压器(5),所述多个涡轮增压器中的至少一个涡轮增压器是可选择性启用的涡轮增压器(5),该控制器被配置成在相对较高的发动机负载下将可选择性启用的涡轮增压器(5)启用及停用,并且降低了所述可选择性启用的涡轮增压器(5)发生喘振或失速的风险。



1. 一种单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机(100),所述发动机(100)包括:

多个气缸(1),所述气缸(1)具有扫气端口(18)和排气阀(4),所述扫气端口(18)位于所述气缸(1)的下端部处,所述排气阀(4)位于所述气缸(1)的上端部处,

进气系统,扫气气体通过所述进气系统被引入到所述气缸(1)中,所述进气系统包括扫气气体接收器(2),所述扫气气体接收器(2)经由所述扫气端口(18)连接至所述气缸(1),

排气系统,所述气缸(1)中产生的排气通过所述排气系统排出,所述排气系统包括排气接收器(3),所述排气接收器(3)经由所述排气阀(4)连接至所述气缸(1),

多个涡轮增压器(5),每个涡轮增压器(5)具有排气驱动的涡轮(8),所述涡轮(8)以可操作的方式联接至压缩机(7),其中,所述涡轮(8)的入口连接至所述排气接收器(3),以及所述压缩机(7)的出口连接至所述进气系统,以将经加压的扫气气体流输送至所述扫气气体接收器(2),

所述多个涡轮增压器(5)中的至少一个涡轮增压器是可选择性启用的涡轮增压器(5),所述可选择性启用的涡轮增压器(5)具有:

可启用的涡轮(8),所述可启用的涡轮(8)经由电子控制的涡轮控制阀(35)而选择性地连接至所述排气接收器(3),

可启用的压缩机(7),其中,所述可启用的压缩机(7)的出口选择性地连接至以下各者:

所述进气系统,所述可启用的压缩机(7)的出口通过电子控制的压缩机控制阀(36)而连接至所述进气系统,以及

大气,所述可启用的压缩机(7)的出口通过电子控制的空气释放阀(37)而连接至大气,所述空气释放阀(37)在所述压缩机控制阀(36)的上游处连接至所述可启用的压缩机(7)的所述出口,

所述空气释放阀(37)是可变阀,从而对穿过所述空气释放阀(37)的气体流形成可控的可变限制,以及

控制器(50),所述控制器(50)联接至以下各者:

所述涡轮控制阀(35),

所述压缩机控制阀(36),以及

所述空气释放阀(37),

其特征在于,当将所述可选择性启用的涡轮增压器(5)启用时,所述控制器(50)被配置成:

使所述涡轮控制阀(35)从关闭位置移动至打开位置,

使所述压缩机控制阀(36)从关闭位置移动至打开位置,

根据关于以下两者的函数使所述空气释放阀(37)从打开位置朝向关闭位置连续移动:

所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的测量或估算的压力,

以及

所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的测量或估算的转速,

其中,对于所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的给定转速,所述控制器(50)被通知所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的目标压力,以及

其中,在所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的给定转速下的所述目标压力对应于所述可启用的压缩机(7)在所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的相同给定转速下具有最高

效率的压力。

2. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 当将所述选择性启用的涡轮增压器(5)停用时, 所述控制器(50)配置成:

使所述压缩机控制阀(36)从打开位置移动至关闭位置,

使所述涡轮控制阀(35)从打开位置移动至关闭位置,

根据关于以下各者中的至少一者的函数, 使所述空气释放阀(37)朝向打开位置连续移动:

所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的测量或估算的压力,

以及

所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的测量或估算的转速。

3. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 所述函数使所述空气释放阀(37)移动至使得所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的实际压力与所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的实际转速的所述目标压力相对应的位置。

4. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的给定转速的所述目标压力与所述可启用的压缩机(7)在所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的相同给定转速下发生喘振的压力相距喘振裕度。

5. 根据权利要求1所述的发动机(100), 所述发动机(100)包括压力传感器(33)和速度传感器中的至少一者, 所述压力传感器(33)被配置成提供表示所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的压力的信号, 所述速度传感器被配置成提供表示所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的转速的信号。

6. 根据权利要求5所述的发动机(100), 其中, 所述控制器(50)被配置成基于来自所述速度传感器的信号来确定所述目标压力。

7. 根据权利要求6所述的发动机(100), 其中, 所述控制器(50)被配置成: 对所述目标压力与来自所述压力传感器(33)的信号之间的差异进行确定, 并且根据所述差异来对所述空气释放阀(37)的设定点进行确定。

8. 根据权利要求7所述的发动机(100), 其中, 所述控制器(50)被配置成根据所述差异来对所述涡轮控制阀(35)和/或所述压缩机控制阀(36)的设定点进行确定。

9. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 所述涡轮控制阀(35)被布置在所述可启用的涡轮(8)的上游处, 以及/或者其中, 所述压缩机控制阀(36)被布置在所述可启用的压缩机(7)的下游处, 以及/或者其中, 所述空气释放阀(37)被布置在空气释放导管(39)中, 所述空气释放导管(39)位于所述选择性启用的涡轮增压器(5)的压缩机(7)的下游处并且位于所述压缩机控制阀(36)的上游处。

10. 根据权利要求1所述的发动机(100), 所述发动机(100)包括压力传感器(34)和/或观测器, 所述压力传感器(34)用于对所述扫气气体接收器(2)中的扫气气体压力进行感测, 所述观测器用于对所述扫气气体接收器(2)中的扫气压力进行估算。

11. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 所述控制器(50)被配置成根据所述发动机的工作条件来将所述可选择性启用的涡轮增压器(5)启用及停用。

12. 根据权利要求1所述的发动机(100), 其中, 所述压缩机控制阀(36)是可变阀, 从而对穿过所述压缩机控制阀(36)的气体流形成可控的可变限制, 以及其中, 当将所述可选择

性启用的涡轮增压器(5)启用时,所述控制器(50)被配置成根据以下两者来使所述压缩机控制阀(36)从关闭位置朝向打开位置移动:

所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的测量或估算的压力,以及  
所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的测量或估算的转速。

13.一种对单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机(100)进行操作的方法,所述发动机(100)包括:

多个气缸(1),所述气缸(1)具有扫气端口(18)和排气阀(4),所述扫气端口(18)位于所述气缸(1)的下端部处,所述排气阀(4)位于所述气缸(1)的上端部处,

进气系统,扫气气体通过所述进气系统被引入到所述气缸(1)中,所述进气系统包括扫气气体接收器(2),所述扫气气体接收器(2)经由所述扫气端口(18)连接至所述气缸(1),

排气系统,所述气缸中产生的排气通过所述排气系统排出,所述排气系统包括排气接收器(3),所述排气接收器(3)经由所述排气阀(4)连接至所述气缸(1),以及

多个涡轮增压器(5),每个涡轮增压器(5)具有排气驱动的涡轮(8),所述涡轮(8)以可操作的方式联接至压缩机(7),其中,所述涡轮(8)的入口连接至所述排气接收器(3),以及所述压缩机(7)的出口连接至所述进气系统,以将经加压的扫气气体流输送至所述扫气气体接收器(2),

所述多个涡轮增压器(5)中的至少一个涡轮增压器是可选择性启用的涡轮增压器(5),所述可选择性启用的涡轮增压器(5)具有:

可启用的涡轮(8),所述可启用的涡轮(8)通过电子控制的涡轮控制阀(35)而选择性地连接至所述排气接收器(3),

可启用的压缩机(7),其中,所述可启用的压缩机(7)的出口选择地连接至以下各者:

所述进气系统,所述可启用的压缩机(7)的出口通过电子控制的压缩机控制阀(36)而连接至所述进气系统,以及

大气,所述可启用的压缩机(7)的出口通过电子控制的空气释放阀(37)而连接至大气,所述空气释放阀(37)在所述压缩机控制阀(36)上游处连接至所述可启用的压缩机(7)的所述出口,

所述空气释放阀(37)是可变阀,从而对穿过所述空气释放阀(37)的气体流形成可控的可变限制,

所述方法包括:

对以下各者中的至少一者进行测量或估算:所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的压力和所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的转速,

其特征在于,通过以下方式将至少一个所述可选择性启用的涡轮增压器(5)启用:

使所述涡轮控制阀(35)从关闭位置移动至打开位置,

使所述压缩机控制阀(36)从关闭位置移动至打开位置,

在将至少一个所述可选择性启用的涡轮增压器(5)启用期间,根据以下各者中的至少一者,使所述空气释放阀(37)从打开位置朝向关闭位置连续移动:

所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的所述测量或估算的压力,

以及

所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的所述测量或估算的转速,

其中,对于所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的给定转速,控制器(50)被通知所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的目标压力,以及

其中,在所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的给定转速下的所述目标压力对应于所述可启用的压缩机(7)在所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的相同给定转速下具有最高效率的压力。

14.根据权利要求13所述的方法,所述方法包括:

通过以下方式将至少一个所述可选择性启用的涡轮增压器(5)停用:

使所述压缩机控制阀(36)从打开位置移动至关闭位置,

使所述涡轮控制阀(35)从打开位置移动至关闭位置,

根据以下各者中的至少一者,使所述空气释放阀(37)从关闭位置向打开位置连续移动:

所述可启用的压缩机(7)的所述出口处的测量和/或估算的压力,

以及

所述可选择性启用的涡轮增压器(5)的测量和/或估算的转速。

## 单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机及其操作方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及配备有用于对扫气空气进行供给的多个排气驱动的涡轮增压器的方法和大型涡轮增压二冲程内燃发动机以及对这种发动机进行操作的方法。

### 背景技术

[0002] 大型涡轮增压二冲程内燃发动机通常用于大型船舶的推进系统或者用作发电厂中的原动机。这种大型涡轮增压二冲程内燃发动机的庞大尺寸、重量和功率输出使它们与普通内燃发动机完全不同,并且使大型二冲程涡轮增压压缩点火式内燃发动机自成一类。这些发动机的高度通常并不是至关重要的,并且因此这些发动机构建有十字头以避免活塞上的侧向载荷。通常,这些发动机使用天然气、石油气体、甲醇、乙烷或(重)燃料油进行操作。

[0003] 大型涡轮增压二冲程内燃发动机可以利用压缩点火进行操作,即根据狄塞尔(Diesel)原理进行操作,或者可以作为预混发动机,即根据奥托(Otto)原理进行操作,其中,扫气气体在活塞从下止点(BDC)到上止点(TDC)的冲程期间与燃料混合。

[0004] 针对单个发动机负载来对这种发动机中的涡轮增压器性能进行优化相对简单。然而,大型涡轮增压二冲程内燃发动机需要在大范围的发动机负载和操作条件下进行操作,如果安装单个(非可变几何形状)涡轮增压器,则难以在大的发动机负载范围内实现最佳涡轮增压器效率。可变几何涡轮增压器可以缓解问题中一些问题,但是也具有其他缺点,比如使成本、维护和复杂性增加。已经证明的是,特别是在对部分负载下的发动机效率进行优化时,能够在部分负载下增加扫气空气压力是很有用的。因此,使用排气旁路来影响扫气空气压力已经变得很普遍。该影响是通过在旁路打开的情况下将涡轮增压器与100%负载下的特定压力匹配来获得的。这导致涡轮增压器的功率减小,这是因为一部分排气绕过涡轮增压器的涡轮。从气缸的角度来看,这对应于以较低的效率安装涡轮增压器,并且因此扫气会受到负面影响。然而,当旁路在部分负载下关闭时,涡轮增压器的涡轮接收所有可用的排气质量流,然后涡轮增压器的涡轮将接收到的排气质量流转化为较高的空气质量流,从而在部分负载下产生较高的扫气空气压力。然而,在高发动机负载下,显然不希望扫气减少。避免该问题的一种方式是在安装多个涡轮增压器并且选择性地使用涡轮增压器中一个或更多个涡轮增压器,从而以在实际发动机负载下产生最佳性能的方式使用总涡轮增压容量的选定部分。通过选择性地启用及停用涡轮增压器,启用的一个或更多个涡轮增压器总是获得所有排气功率,并且避免了高负载下扫气质量的降低。被启用及停用的一个或更多个涡轮增压器不一定与其余的涡轮增压器具有相同的尺寸(容量)(所述其余的涡轮增压器为总是启用的涡轮增压器)。选择性地启用及停用的一个或更多个涡轮增压器的相对尺寸/容量根据所需的对扫气空气压力的影响大小来进行选择。

[0005] 因此,如果安装有多个涡轮增压器并且对处于操作中的涡轮增压器的数量进行控制,则可以在大的发动机负载范围内实现高涡轮增压器效率,从而与单个(非可变几何形状)涡轮增压器相比改进了燃料消耗,从而降低了发动机操作成本和环境负载。

[0006] 当涡轮增压器被停用时,100%的发动机负载不一定是可能的。剩余的一个或更多个启用的涡轮增压器根本没有足够的容量来处理总的排气量。这意味着当将发动机负载向最大发动机负载增加时,一个或更多个涡轮增压器需要在相对较高的负载下被启用,通常在最大发动机负载(最大持续功率(maximum continuous rating))的50%与75%之间被启用。这同样适用于停用涡轮增压器的逆向过程,这通常也需要在类似或相同的相对较高的发动机负载下进行。

[0007] 然而,在实践中已经表明难以在如此高的发动机负载下启用或停用涡轮增压器,这是因为在切入和切出期间,将压缩机操作点保持在涡轮增压器的压缩机的压缩机图表内是关键。如果涡轮增压器速度对于当前压力比而言变得太低,则压缩机将被推动到喘振/失速状态。喘振是压缩机中稳定流的中断,这通常发生在低流速时。当压缩机偏离设计点运行时会发生喘振,并且喘振会影响整个涡轮增压器,而这在空气动力学和机械上都是不希望的。喘振会损坏涡轮增压器。喘振会导致高温、高振动并且导致倒流,这意味着流会倒退并且流出压缩机消音器。这会导致涡轮增压器的机械部件上的高负载。虽然单个喘振/失速对涡轮增压器来说不一定是严重的,但随着时间的推移,多个喘振可能会危及涡轮增压器的可靠性。

[0008] 在现有技术中,这个问题还没有解决,即不可能将压缩机操作点保持在压缩机图表中的所需位置或区域中,并且因此,在现有技术中,这个问题已经通过在相对较低的发动机负载、通常约为最大持续功率的10%或更低的发动机负载下启用及停用涡轮增压器来规避。然而,这意味着每次启用或停用涡轮增压器都需要将发动机减速至10%的发动机负载,这在实践中是非常不希望的,而且通常是不可能的,例如当发动机用作远洋船舶的主推进力时,发动机在能够以高于例如65%的发动机负载进行操作之前需要被减速至10%的发动机负载是不希望的。

[0009] US2010/0281862公开了一种配备有多个涡轮增压器的船用发动机,其中,涡轮增压器从单独操作切换到并联操作或者从并联操作切换到单独操作,并且声称防止了要启动或停止的涡轮增压器中的喘振。船用柴油发动机包括:排气管,安装在发动机本体上的排气歧管经由该排气管与涡轮部分相通;涡轮入口阀,该涡轮入口阀连接在排气管中的某处;供给管,压缩机部分经由该供给管与安装在发动机本体上的供给歧管相通;止回阀,该止回阀连接在供给管中的某处,并且当该压缩机部分的出口压力达到或超过压缩机部分的出口压力时,该止回阀打开;通气管,该通气管的一个端部在压缩机部分与止回阀之间连接在供给管中的某处;以及通气阀,该通气阀连接在通气管中的某处。当涡轮增压器被启动时,通气阀在涡轮入口阀几乎到达该涡轮入口阀的打开位置时关闭,并且当涡轮增压器被停止时,通气阀恰好在涡轮入口阀开始关闭之前打开。然而,本公开的发明人的测试表明,通过遵循US2010/0281862的教导并不能可靠地防止涡轮增压器发生喘振。

[0010] JPW02015162840A1公开了一种发动机系统,其中,从主增压器和辅助增压器进行操作的状态开始,辅助涡轮入口阀和辅助压缩机出口阀被关闭,并且辅助增压器停止,同时保持主增压器进行操作;当将操作的增压器的数量减少时,基于辅助增压器的转速来确定具有规定喘振裕度的停止时间参考压力,并且当辅助压缩机的出口压力高于停止时间参考压力时,排出阀被打开,以及当辅压机的出口压力低于停止时间参考压力时,排出阀被关闭。

## 发明内容

[0011] 本发明的目的是提供一种单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机,该发动机允许在相对较高的发动机负载下启用及停用涡轮增压器,并且涡轮增压器发生喘振/失速的风险最小。

[0012] 前述和其他目的是通过本公开的各个方面实现的。另外的可能的实施形式通过例如说明书和附图而变得明显。

[0013] 根据第一方面,提供了一种单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机,该发动机包括:

[0014] 多个气缸,该气缸具有位于该气缸的下端部处的扫气端口和位于该气缸的上端部处的排气阀,

[0015] 进气系统,扫气气体通过该进气系统被引入到气缸中,该进气系统包括扫气气体接收器,该扫气气体接收器经由扫气端口连接至气缸,

[0016] 排气系统,气缸中产生的排气通过该排气系统排出,该排气系统包括排气接收器,该排气接收器经由排气阀连接至气缸,

[0017] 多个涡轮增压器,每个涡轮增压器具有排气驱动的涡轮,该涡轮以可操作的方式联接至压缩机,其中,涡轮的入口连接至排气接收器,以及压缩机的出口连接至进气系统,以将经加压的扫气气体流输送到扫气气体接收器,

[0018] 所述多个涡轮增压器中的至少一个涡轮增压器是可选择性启用的涡轮增压器,该可选择性启用的涡轮增压器具有:

[0019] 可启用的涡轮,该可启用的涡轮通过电子控制的涡轮控制阀而选择性地连接至排气接收器,

[0020] 可启用的压缩机,其中,该可启用的压缩机的出口选择地连接至

[0021] 以下各者:

[0022] 进气系统,该可启用的压缩机的出口通过电子控制的压缩机控制阀而连接至该进气系统,以及

[0023] 大气,该可启用的压缩机的出口通过电子控制的空气释放阀而连接至大气,该空气释放阀在压缩机控制阀上游处连接至可启用的压缩机的出口,

[0024] 空气释放阀是可变阀,从而对穿过该空气释放阀的气体流形成可控的可变限制,以及

[0025] 控制器,该控制器联接至以下各者:

[0026] 涡轮控制阀,

[0027] 压缩机控制阀,以及

[0028] 空气释放阀,

[0029] 其中,当将可选择性启用的涡轮增压器启用时,控制器被配置成:

[0030] 使涡轮控制阀从关闭位置移动到打开位置,

[0031] 使压缩机控制阀从关闭位置移动至打开位置,

[0032] 根据关于以下各者中的至少一者的函数(function),使空气释放

[0033] 阀朝向关闭位置连续移动:

[0034] 可启用的压缩机的出口处的测量或估算的压力,

[0035] 以及

[0036] 可选择性启用的涡轮增压器的测量或估算的转速。

[0037] 通过根据该函数使空气释放阀从打开位置向关闭位置连续移动,可以对可启用的压缩机的出口处的压力进行控制,并且因此将可启用的压缩机上的压力比控制在以下水平:该水平确保由压缩机上的压力比和涡轮增压器/压缩机速度的组合限定的压缩机操作点与压缩机发生喘振/失速的操作点相距一距离,即具有喘振/失速裕度,从而显著降低了压缩机在可启用的压缩机的启用期间发生喘振/失速的风险。

[0038] 在第一方面的可能的实施形式中,该函数是从可启用的压缩机的已知处于与发生喘振或失速相距安全距离处的操作点获得的。

[0039] 在第一方面的可能的实施形式中,该函数是从压缩机特性获得的,该压缩机特性例如是与可启用的压缩机相关联的压缩机图表中限定的压缩机特性。

[0040] 通过将可启用的压缩机的出口处的压力控制为从压缩机图表中获得的函数,可以以防止或至少减少失速和/或喘振发生的方式控制涡轮增压器的启动。

[0041] 在第一方面的可能的实现形式中,当将选择性启用的涡轮增压器停用时,控制器被配置成:

[0042] 使压缩机控制阀从打开位置移动到关闭位置,

[0043] 使涡轮控制阀从打开位置移动到关闭位置,优选地,在压缩机控制阀已经关闭之后使涡轮控制阀从打开位置移动到关闭位置,

[0044] 根据关于以下各者中的至少一者的函数,使空气释放阀朝向打开位置移动:

[0045] 可启用的压缩机的出口处的测量和/或估算的压力,

[0046] 以及

[0047] 可选择性启用的涡轮增压器的测量和/或估算的转速。

[0048] 通过根据该函数来使空气释放阀从关闭位置向打开位置连续移动,可以对可启用的压缩机的出口处的压力进行控制,并且因此将可启用的压缩机上的压力比控制在以下水平:该水平确保了由压力比和涡轮增压器速度的组合限定的压缩机操作点与压缩机发生喘振/失速的操作点相距一距离,即具有喘振/失速裕度,从而显著降低了压缩机在可启用的压缩机的停用期间发生喘振或失速的风险。

[0049] 在第一方面的可能的实施形式中,对于可选择性启用的涡轮增压器的转速范围内的可选择性启用的涡轮增压器的给定转速,控制器被通知可启用的压缩机的出口处的目标压力。

[0050] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器使空气释放阀移动到下述位置:该位置使得可启用的压缩机的出口处的实际压力对应于可选择性启用的涡轮增压器的实际转速的目标压力。通过确保可启用的压缩机的出口处的实际压力对应于目标压力,可以将操作点保持在最佳位置、例如对应于最高压缩机效率的位置。此外,通过将可启用的压缩机的操作点保持在最佳操作位置或接近最佳操作位置,也显著降低了发生失速的风险。

[0051] 在第一方面的可能的实施形式中,可选择性启用的涡轮增压器的给定转速的目标压力与可启用的压缩机在可选择性启用的涡轮增压器的相同给定转速下发生喘振的压力相距喘振裕度。

[0052] 在第一方面的可能的实施形式中,可选择性启用的涡轮增压器的给定转速下的目

标压力对应于可启用的压缩机在可选择性启用的涡轮增压器的相同给定转速下具有最高效率的压力。

[0053] 在第一方面的可能的实施形式中,发动机包括:压力传感器,该压力传感器提供表示可启用的压缩机的出口处的压力的信号;以及/或者速度传感器,该速度传感器被配置成提供表示可选择性启用的涡轮增压器的转速的信号。

[0054] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器被配置成基于来自速度传感器的信号来确定目标压力。

[0055] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器被配置成对目标压力与来自压力传感器的信号之间的差异进行确定并且根据该差异确定空气释放阀的设定点。

[0056] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器被配置成根据所确定的与设定点的差异来对涡轮控制阀和/或压缩机控制阀的设定点进行确定。

[0057] 在第一方面的可能的实施形式中,涡轮控制阀被布置在可启用的涡轮的上游处,以及/或者其中,压缩机控制阀被布置在可启用的压缩机的下游处,以及/或者其中,空气释放阀被布置在空气释放导管中,该空气释放导管位于选择性启用的涡轮增压器的压缩机的下游处于并且位于压缩机控制阀的上游处。

[0058] 在第一方面的可能的实施形式中,可选择性启用的涡轮增压器的估算压力和/或估算转速是从一个或多个测试和/或模拟中或者通过经验获得的预存值。

[0059] 在第一方面的可能的实施形式中,发动机包括燃料系统,该燃料系统用于将燃料输送到气缸。

[0060] 在第一方面的可能的实施形式中,涡轮控制阀被配置成对向可启用的涡轮的排气流进行控制。

[0061] 在第一方面的可能的实施形式中,压缩机控制阀被配置成对从可启用的压缩机向扫气气体接收器的扫气气体流进行控制。

[0062] 在第一方面的可能的实施形式中,发动机包括用于对扫气气体接收器中的扫气气体压力进行感测的压力传感器和/或用于对扫气气体接收器中的扫气压力进行估算的观测器。

[0063] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器被配置成根据发动机的操作条件来将可选择性启用的涡轮增压器启用及停用,优选地,控制器被配置成根据发动机负载、扫气空气压力或负载设定点来将可选择性启用的涡轮增压器启用及停用。

[0064] 在第一方面的可能的实施形式中,控制器配置成根据感测或观测到的扫气气体压力以及/或者感测或观测到的排气温度来确定实际的发动机涡轮增压效率。术语“发动机涡轮增压效率”是指发动机所经受/感觉到的涡轮增压效率,而与环境条件无关。

[0065] 在第一方面的可能的实施形式中,压缩机控制阀是可变阀,从而对穿过该压缩机控制阀的气体流形成可控的可变限制,并且当将可选择性启用的涡轮增压器启用时,控制器被配置成根据以下两者来使压缩机控制阀朝向打开位置移动:

[0066] 可启用的压缩机的出口处的测量或估算的压力,

[0067] 以及

[0068] 可选择性启用的涡轮增压器的测量或估算的转速。

[0069] 根据第二方面,提供了一种对单流型大型涡轮增压二冲程内燃发动机进行操作的

方法,该发动机包括:

[0070] 多个气缸,该气缸具有位于该气缸的下端部处的扫气端口和位于该气缸的上端部处的排气阀,

[0071] 进气系统,扫气气体通过该进气系统被引入到气缸中,该进气系统包括扫气气体接收器,该扫气气体接收器经由扫气端口连接至气缸,

[0072] 排气系统,气缸中产生的排气通过该排气系统排出,该排气系统包括排气接收器,该排气接收器经由排气阀连接至气缸,以及

[0073] 多个涡轮增压器,每个涡轮增压器具有排气驱动的涡轮,该涡轮以可操作的方式连接至压缩机,其中,涡轮的入口连接至排气接收器,以及压缩机的出口连接至进气系统,以将经加压的扫气气体流输送至扫气气体接收器,

[0074] 所述多个涡轮增压器中的至少一个涡轮增压器是可选择性启用的涡轮增压器,该可选择性启用的涡轮增压器具有:

[0075] 可启用的涡轮,该可启用的涡轮经由电子控制的涡轮控制阀而选择性地连接至排气接收器,

[0076] 可启用的压缩机,该可启用的压缩机的出口选择地连接至以下各者:

[0077] 进气系统,该可启用的压缩机的出口通过电子控制的压缩机控制阀而连接至该进气系统,以及

[0078] 大气,该可启用的压缩机的出口通过电子控制的空气释放阀而连接至大气,该空气释放阀在压缩机控制阀的上游处连接至可启用的压缩机的出口,

[0079] 空气释放阀是可变阀,从而对穿过该空气释放阀的气体流形成可控的可变限制,

[0080] 该方法包括:

[0081] 对可启用的压缩机的出口处的压力和可选择性启用的涡轮增压器的转速中的至少一者进行测量或估算,

[0082] 通过以下方式将至少一个可选择性启用的涡轮增压器启用:

[0083] 使涡轮控制阀从关闭位置移动到打开位置,

[0084] 使压缩机控制阀从关闭位置移动到打开位置,优选地,在涡轮控制阀已经打开之后使压缩机控制阀从关闭位置移动到打开位置,

[0085] 根据以下各者中的至少一者,使空气释放阀从关闭位置向打开位置连续移动:

[0086] 可启用的压缩机的出口处的测量或估算的压力,以及可选择性启用的涡轮增压器的测量或估算的转速。

[0087] 在第二方面的可能的实施形式中,该方法包括:

[0088] 通过以下方式将至少一个可选择性启用的涡轮增压器停用:

[0089] 使压缩机控制阀从打开位置移动到关闭位置,

[0090] 使涡轮控制阀从打开位置移动到关闭位置,优选地,在压缩机控制阀已经关闭之后使涡轮控制阀从打开位置移动到关闭位置,

[0091] 根据以下各者中的至少一者,使空气释放阀从打开位置向关闭位置连续移动:

[0092] 可启用的压缩机的出口处的测量或估算的压力,

[0093] 以及

[0094] 可选择性启用的涡轮增压器的测量或估算的转速。

[0095] 本发明的这些和其他方面将从以下描述的实施方式中变得明显。

### 附图说明

[0096] 在本公开的以下详述部分中,将参考附图中所示的示例性的实施方式对各个方面、实施方式和实施形式进行更详细地说明,在附图中:

[0097] 图1是根据示例性的实施方式的配备有多个涡轮增压器的大型二冲程内燃发动机的正立视图,

[0098] 图2是图1的大型二冲程内燃发动机的侧立视图,

[0099] 图3是根据图1的大型二冲程内燃发动机的示意图(图3中示出了所述多个涡轮增压器中的仅一个涡轮增压器,以使该图尽可能简单),

[0100] 图4和图5是示出了在测试期间的扫气压力、阀运动和失速裕度的曲线图,

[0101] 图6是图1的发动机的控制图,

[0102] 图7是图1的具有两个涡轮增压器的大型二冲程内燃发动机的实施方式的示意图,

[0103] 图8至图10是示出了根据图1的发动机的扫气压力、工作线设定点、实际工作线、阀运动和喘振裕度的示例的曲线图,以及

[0104] 图11是具有三个涡轮增压器的大型二冲程内燃发动机的另一实施方式的示意图。

### 具体实施方式

[0105] 图1、图2和图3示出了具有曲轴8和十字头9的大型低速涡轮增压二冲程柴油发动机100。图3示出了具有进气系统和排气系统的大型低速涡轮增压二冲程柴油发动机的示意图。在该示例性的实施方式中,发动机100具有直列式的六个气缸1。大型低速涡轮增压二冲程柴油发动机通常具有由气缸框架23承载的直列式的四个至十四个气缸1,该气缸框架23由发动机框架11承载。发动机100可以例如用作海洋船舶中的主发动机或者用作发电站中的用于使发电机进行操作的固定发动机。发动机100的总输出例如可以在1,000kW至110,000kW的范围内。

[0106] 在该示例性的实施方式中,发动机100是二冲程单流型压缩点火式发动机100,该发动机100具有位于气缸套1的下部区域处的扫气端口18以及位于每个气缸套1的顶部处的中央排气阀4。然而,应当理解的是,发动机100不需要是压缩点火的(狄塞尔原理),而替代性地可以是预混发动机(奥托原理)。因此,在本实施方式中,发动机100的压缩压力对于压缩点火而言将是足够高的,但应理解的是,发动机100可以以较低的压缩压力进行操作并且可以通过火花或类似措施来点火的预混发动机。

[0107] 扫气空气通过进气系统被引入到气缸1中,进气系统包括扫气气体接收器2,该扫气气体接收器2经由扫气端口18而连接至气缸1。

[0108] 气缸中产生的排气通过排气系统排出,排气系统包括排气接收器3,该排气接收器3经由排气阀4连接至气缸1。

[0109] 发动机100的进气系统包括扫气气体或扫气空气的接收器2(如果没有使用EGR,则接收器2将仅接收空气,以及在使用EGR的情况下,接收器2将接收排气与扫气空气的混合物,因此命名为扫气气体接收器)。扫气空气从扫气气体接收器2被传送至各个气缸1的扫气端口18。在气缸套1中、在下止点(BDC)与上止点(TDC)之间往复运动的活塞10对扫气空气进

行压缩。燃料通过布置在气缸盖22中的燃料阀55而被喷射,随后进行燃烧并产生排气。替代性地,燃料阀55被布置在气缸套中,并且燃料在活塞从BDC到TDC的冲程期间被允许进入,扫气空气和燃料的混合物被压缩并且当活塞处于或接近TDC时触发电火,随后进行燃烧并产生排气。

[0110] 气缸盖22中的中央开口中布置有中央排气阀4。多个(优选三个或四个)燃料阀55围绕中央开口/排气阀4分布在气缸盖22中。排气阀4是由控制器50(电子控制单元)所控制的电动液压排气阀致动系统29致动的。燃料阀55由燃料供给系统30来供给燃料。控制器50还被配置成对燃料阀55的操作进行控制。

[0111] 当排气阀4打开时,排气从气缸盖22中的中央开口流动穿过包括与每个气缸1相关联的排气导管的排气系统而进入到排气接收器3中,并且继续穿过第一排气导管19而流动至涡轮增压器5的涡轮8(发动机100设置有多多个涡轮增压器5,但并非所有涡轮增压器都必须被同时启用),排气从涡轮8穿过第二排气导管经由节能器20而流动至出口21,然后进入到大气中。

[0112] 启用的涡轮增压器5的涡轮8通过每个涡轮增压器5中的轴来对压缩机7进行驱动,压缩机7经由空气入口12而被供给有新鲜空气。压缩机7将经加压的扫气空气输送至通向扫气气体接收器2的扫气空气导管13。通常,为每个压缩机7都设置扫气空气导管13。扫气空气导管13中的扫气空气穿过中间冷却器14和水雾捕集器63,以对扫气空气进行冷却。

[0113] 发动机100包括控制器50以及两个或更多个涡轮增压器5。涡轮增压器5中的至少一个涡轮增压器是选择性启用的涡轮增压器5。控制器50被配置成在低于停用发动机负载阈值时将至少一个选择性涡轮增压器5停用,使得仅一个具有合适流动面积的涡轮增压器5在低发动机负载下运行。控制器50还被配置成当发动机负载高于启用发动机负载阈值时将至少一个选择性启用的涡轮增压器5启用。启用发动机负载和停用发动机负载可以是相同的或不同的,并且被选择成使得启用的涡轮增压器5的流动面积与发动机负载相匹配。

[0114] 图7示出了具有两个涡轮增压器5的发动机100的实施方式,每个涡轮增压器处于单独的扫气空气串中。图7中左侧的涡轮增压器5是可选择性启用的涡轮增压器,而图7中右侧的涡轮增压器5总是启用的。选择性启用的涡轮增压器5和总是启用的涡轮增压器5可以具有相同的容量或不同的容量。特别地,选择性启用的涡轮增压器5可以具有比总是启用的涡轮增压器5小的容量。控制器50被配置成根据发动机的实际操作条件、特别是根据实际发动机负载来将选择性启用的涡轮增压器5启用及停用,目的在于实现发动机100的最佳涡轮增压效率。

[0115] 在将选择性启用的涡轮增压器5的可启用的涡轮8的入口与排气接收器3连接的导管中布置有电子控制的涡轮控制阀35。涡轮控制阀35连接至控制器50,并且涡轮控制阀35的位置由控制器50通过给涡轮控制阀35的信号来控制。通过涡轮控制阀35,控制器50将从排气接收器3至可启用的涡轮8的入口的排气流启用及停用。

[0116] 在经由扫气空气冷却器14和水雾捕集器63而将选择性启用的涡轮增压器5的可启用的压缩机7的出口与扫气气体接收器2连接的导管中布置有电子控制的压缩机控制阀36。压缩机控制阀36连接至控制器50,并且压缩机控制阀36的位置由控制器50通过给压缩机控制阀36的信号来控制。通过压缩机控制阀36,控制器50可以将可从启用的压缩机7的出口到扫气气体接收器2的扫气空气流启用及停用。

[0117] 至少选择性启用的涡轮增压器5设置有转速传感器,该转速传感器产生表示选择性启用的涡轮增压器5的转速的信号,并且该信号被传送至控制器50。压力传感器33被布置成对可启用的压缩机7的出口处的压力进行测量。压力传感器33被布置在压缩机控制阀36的上游处。压力传感器33的信号被传送至控制器50。

[0118] 在可启用的压缩机7的出口与例如具有大致等于大气压力的压力的大气或其他环境、例如涡轮增压器5的下游处的排气系统或可选择性启用的压缩机7的入口侧之间布置有电子控制的空气释放阀37,空气释放阀37在压缩机控制阀36上游处流体连接至可启用的压缩机7的出口。优选地,空气释放阀37被布置在空气释放导管39中,该空气释放导管39从将可启用的压缩机7的出口与压缩机控制阀36连接的导管分支出来。空气释放阀37是可变阀,从而对穿过空气释放阀37的气体流形成可控的可变限制。因此,控制器50通过对空气释放阀37的位置进行调节来控制对流动穿过空气释放阀37的空气的限制。

[0119] 图4和图5示出了尝试仅使用涡轮控制阀35 (TCV) 和压缩机控制阀36 (CCV) 来将选择性启用的涡轮增压器5启用及停用的结果。图4是示出了扫气气体接收器2中的以巴为单位的扫气压力随时间变化的曲线图,而图5是示出了涡轮控制阀35和压缩机控制阀36的打开和关闭随时间变化的曲线图,其中,竖轴上的0对应于完全关闭的阀,并且竖轴上的1对应于完全打开的阀。在图5中还绘制出了失速裕度。失速裕度是示出了压缩机接近发生失速的程度的指标。图5清楚地表明,在将涡轮控制阀35和压缩机控制阀36打开之后大约4秒到13秒的时间跨度内失速裕度为负,从而导致压缩机发生失速。尝试了分别对涡轮控制阀35和压缩机控制阀36采用不同的打开曲线和正时,但没有获得喘振/失速裕度可以在将可选择性启用的涡轮增压器5启用及停用期间保持在零以上的结果。

[0120] 压缩机效率可以通过图表中的恒定效率线来描述,其中,压缩机7上的压力比是相对于穿过压缩机7的空气流量来绘制的(压缩机图表)。恒定效率线是该压缩机图表中的椭圆形曲线,压缩机7的效率沿着该曲线保持恒定。压力比是压缩机7的出口处的压力除以压缩机7的入口处的压力的比率。由于压缩机7的入口处的压力基本等于大气压力,可以假设压缩机7的入口处的压力基本上是恒定的,因此仅压缩机7的出口处的压力需要通过测量(例如使用压力传感器)或估算(例如使用观测器)来确定,以便控制器50确定压缩机7上的压力比。穿过压缩机7的空气流量难以直接测量,但在实施方式中由控制器50根据压缩机7的转速、即涡轮增压器5的转速来确定(计算)。

[0121] 在实施方式中,在涡轮增压器速度的范围内,相对于选择性启用的涡轮增压器5的转速产生最高的压缩机效率的在可启用的压缩机7上的最佳压力比被存储在控制器50中,例如存储为可以在图表中表示的工作线,在该图表中,相对于涡轮增压器速度绘制了最佳压力比。

[0122] 在另一实施方式中,在涡轮增压器速度的范围内,相对于选择性启用的涡轮增压器5的转速产生最高的压缩机效率的在可启用的压缩机7的出口处的最佳压力比被存储在控制器50中,这是因为在可启用的压缩机7的入口处的(大气)压力是已知的且恒定的。

[0123] 图6示出了用于对涡轮控制阀35 (TCV)、压缩机控制阀36 (CCV) 和空气释放阀37 (ARV) 的位置进行控制的控制图。涡轮增压器5的测量或估算的转速被提供给目标压力估算器,目标压力估算器可以是单独的控制单元或者是控制器50的一部分。目标压力估算器例如使用上述存储的工作线为实际的涡轮增压器速度计算出可启用的压缩机7出口处的最佳

压力。将目标压力与在可启用的压缩机7的出口处测量或确定的实际压力进行比较,以确定两个信号之间的差异。该差异被发送到阀控制器。阀控制器可以是单独的控制或者是控制器50的一部分。阀控制器相应地对空气释放阀37的位置进行调节。为了对空气释放阀37进行控制,阀控制器可以是比例的(P)、比例和积分的(PI)或者比例、积分和微分的(PID),以用于在可启用的压缩机7的出口处的压力低于目标压力时使空气释放阀37所引起的对流量的限制增加,并且在可启用的压缩机的出口处的压力高于目标压力时使空气释放阀37所引起的对流量的限制减少。因此,涡轮增压器速度用于第一反馈控制回路,并且压缩机出口压力用于第二反馈控制回路。因此,在该实施方式中,控制图形成了双反馈回路控制。

[0124] 在实施方式中,阀控制器根据预定的曲线和顺序对涡轮控制阀35和压缩机控制阀36的打开和关闭进行控制。用于将选择性启用的涡轮增压器5启用以及将选择性启用的涡轮增压器5停用的曲线或工作线可以通过测试或模拟来确定,并且这些预定曲线和顺序被存储在控制器50中。

[0125] 图8示出了在发动机以50%的发动机负载(最大持续功率的50%)进行操作时将选择性启用的涡轮增压器5启用及停用所产生的阀运动随时间变化的示例。可选择性启用的涡轮增压器5例如在发动机负载上升到超过发动机负载阈值时被启用。在该示例中,控制器50被配置成通过使涡轮控制阀35从完全关闭位置移动至完全打开位置来将可选择性启用的涡轮增压器5启用。控制器50被配置成在涡轮控制阀35已经打开之后的一时间跨度内使压缩机控制阀36从完全关闭位置移动至完全打开位置。这不是固定的预定时间跨度。当压力设定点不再增加时,压缩机控制阀36被打开。发生这种情况的时间取决于涡轮增压器5的加速度。空气释放阀37从打开位置开始并且根据上述控制方法、即根据关于可选择性启用的涡轮增压器5的转速以及可启用的压缩机7的出口处的压力的函数而关闭。该函数是由压缩机特性确定的,该压缩机特性可以如上所述地来描述,例如使用压缩机图表来描述该压缩机特性,该函数允许这样的操作点:压缩机最佳地(高效地)运行,或者压缩机至少在没有任何根据可启用的压缩机7的速度和可启用的压缩机7出口处的压力确定的失速/喘振的风险的情况下运行。

[0126] 在本示例中,压缩机控制阀36在涡轮控制阀35之后打开。然而,需要指出的是,并非总是如此,而是视情况而定、特别是取决于涡轮增压器5的加速度。

[0127] 可选择性启用的涡轮增压器5例如在发动机负载下降到低于发动机负载阈值时(该发动机负载阈值可以不同于用于将可选择性启用的涡轮增压器5启用的发动机负载阈值)被停用。在该示例中,控制器50被配置成通过使压缩机控制阀36从完全打开位置移动到完全关闭位置来开始将可选择性启用的涡轮增压器5停用的过程。控制器50被配置成在涡轮增压器控制阀36已经关闭之后的一时间跨度内使涡轮控制阀35从完全打开位置移动到完全关闭位置。空气释放阀37从关闭位置开始,并且根据上述控制方法、即根据可选择性启用的涡轮增压器5的转速和可启用的压缩机7的出口处的压力而打开。

[0128] 图9示出了随时间变化的在扫气气体接收器2中产生的扫气压力、空气释放阀37的工作线设定点和空气释放阀37的实际工作线。图10示出了随时间变化的喘振裕度,并且示出了喘振裕度在将选择性启用的涡轮增压器5启用和将选择性启用的涡轮增压器5停用期间均为正,因此显著降低了喘振的风险。喘振裕度是表示压缩机7接近发生喘振的程度的指标。

[0129] 因此,控制器能够通过以下方式对空气释放阀的位置进行调节:将可启用的压缩机7的出口处的实际压力保持成接近于遵循可启用的压缩机7的峰值效率线的目标压力。

[0130] 选择性启用的涡轮增压器5的行为可以基于发动机在测试台测试和/或计算机模拟来预测,并且因此释放阀37的适当打开曲线可以基于所存储的数据,而不需要实时地对涡轮增压器速度和/或可启用的压缩机7的出口处的压力进行测量或确定。在此,控制器50可以设置有用使压力释放阀37打开的一个或更多个工作线。优选地,这些曲线中的每一个曲线都适于特定的发动机负载。

[0131] 在实施方式中,压缩机控制阀36是可变阀,从而对穿过压缩机控制阀36的气体流形成了可控的可变限制。在该实施方式中,控制器50被配置成:在将可选择性启用的涡轮增压器5启用以在空气释放阀37的对可选择性启用的压缩机7的出口处的压力进行控制的任务中辅助空气释放阀37时,根据可启用的压缩机7的出口处的测量或估算的压力以及可选择性启用的涡轮增压器5的测量或估算的转速,使压缩机控制阀36从关闭位置朝向打开位置移动。

[0132] 图11是根据另一实施方式的发动机100的示意图,该发动机100包括两个总是启用的涡轮增压器5和一个选择性启用的涡轮增压器5。为了简单起见,在该实施方式中,与本文之前描述或示出的相应结构和特征相同或相似的结构和特征用与先前使用的附图标记相同的附图标记来表示。除了附加的总是启用的涡轮增压器5之外,根据该实施方式的发动机100与上述发动机基本相同。由于附加的总是启用的涡轮增压器,可选择性启用的涡轮增压器5被启用的发动机负载和可选择性启用的涡轮增压器5被停用的发动机负载不同于上述发动机。选择性启用的涡轮增压器5被启用以及被停用的发动机负载将取决于相应的涡轮增压器5的容量和特性。

[0133] 已经结合本文中的各种实施方式描述了该方法和该发动机。然而,通过研究附图、本公开内容和所附权利要求,本领域技术人员在实践所要求保护的主体时可以理解和实现所公开的实施方式的其他变型。在权利要求中,用语“包括”并不排除其他元件或步骤,并且不定冠词“一”或“一种”并不排除复数。单个控制器或其他单元可以实现权利要求中所列举的多个项目的功能。在相互不同的从属权利要求中列举某些措施这一事实并不表示这些措施的组合不能被有利地使用。

[0134] 权利要求中所使用的附图标记不应当被解释为对范围进行限制。除非另有说明,否则附图用于与说明书一起阅读(例如,剖面线、部件布置、比例、程度等),并且被认为是本公开的整个书面描述的一部分。如在说明书中使用的术语“水平”、“竖向”、“左”、“右”、“上”和“下”仅指在特定附图面向读者时所示的结构取向。

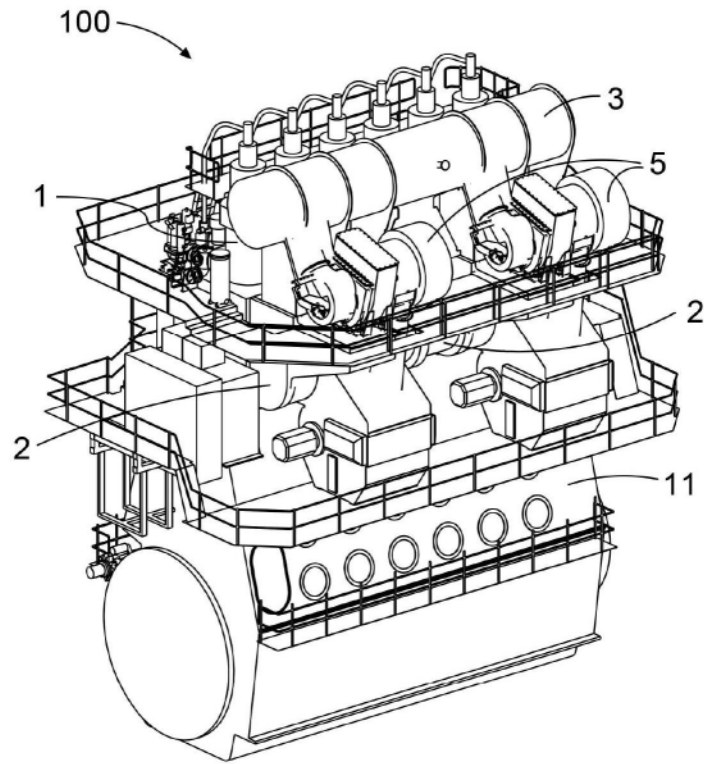


图1

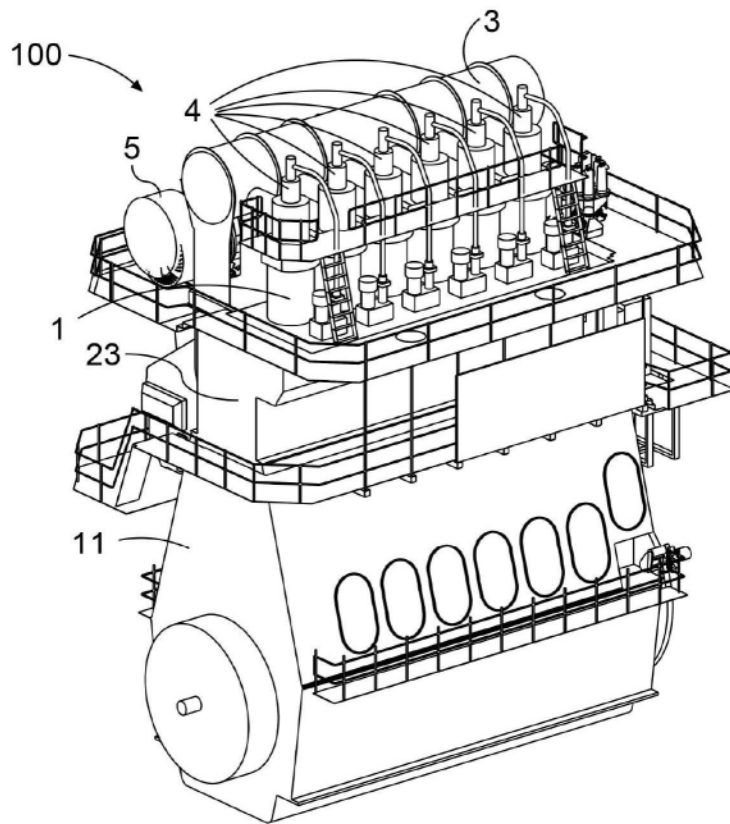


图2

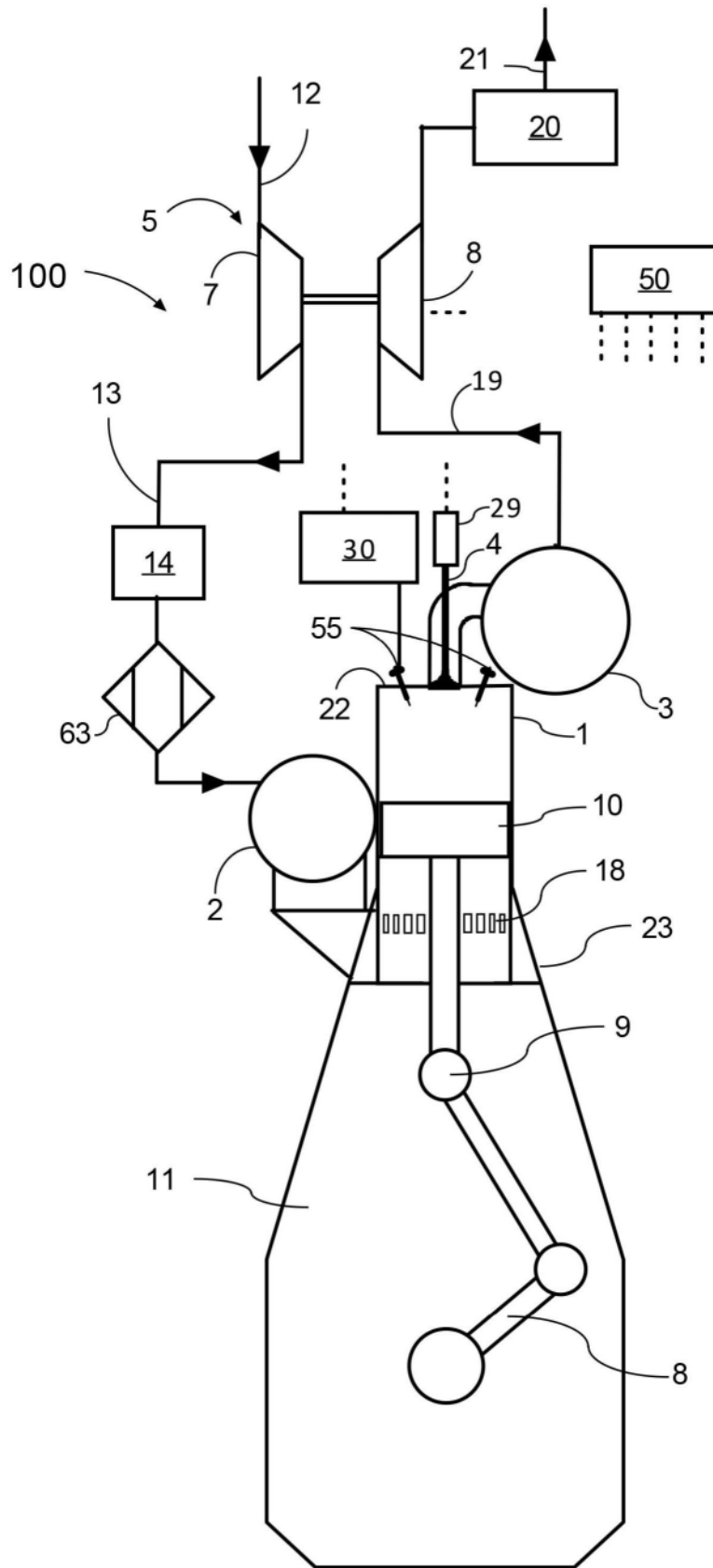


图3

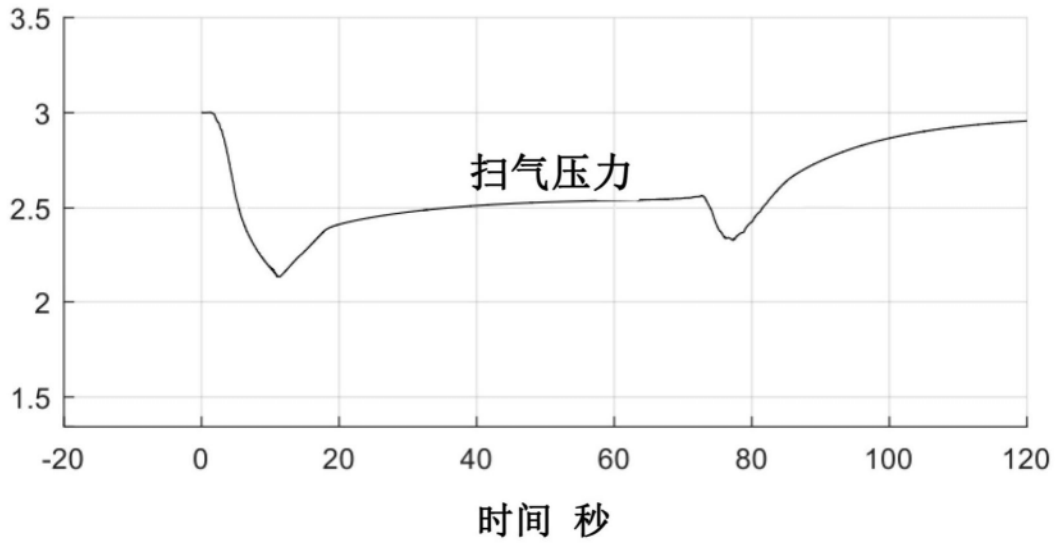


图4

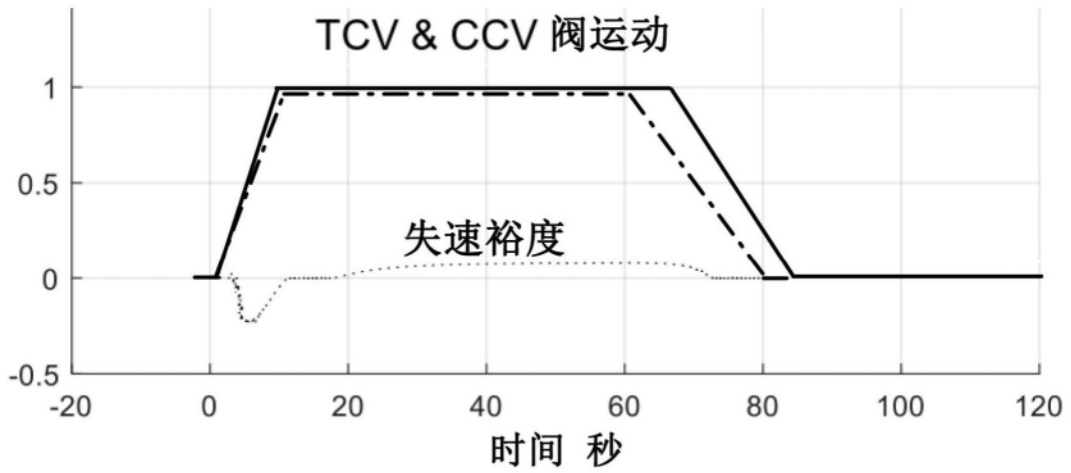


图5

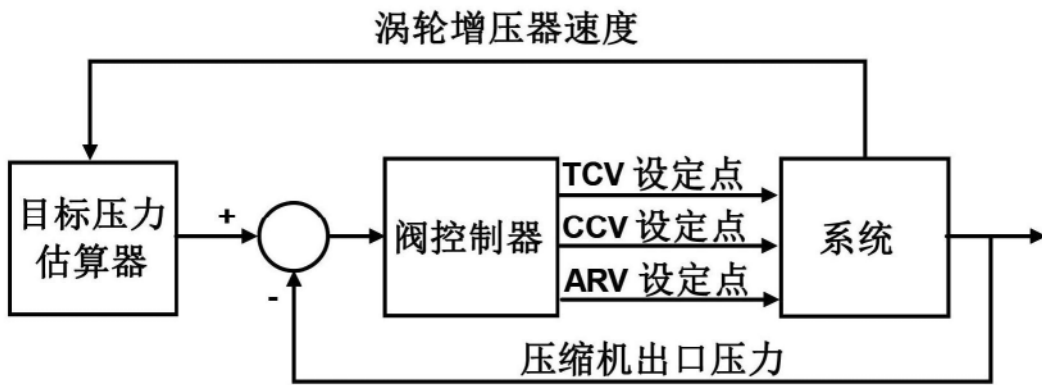


图6

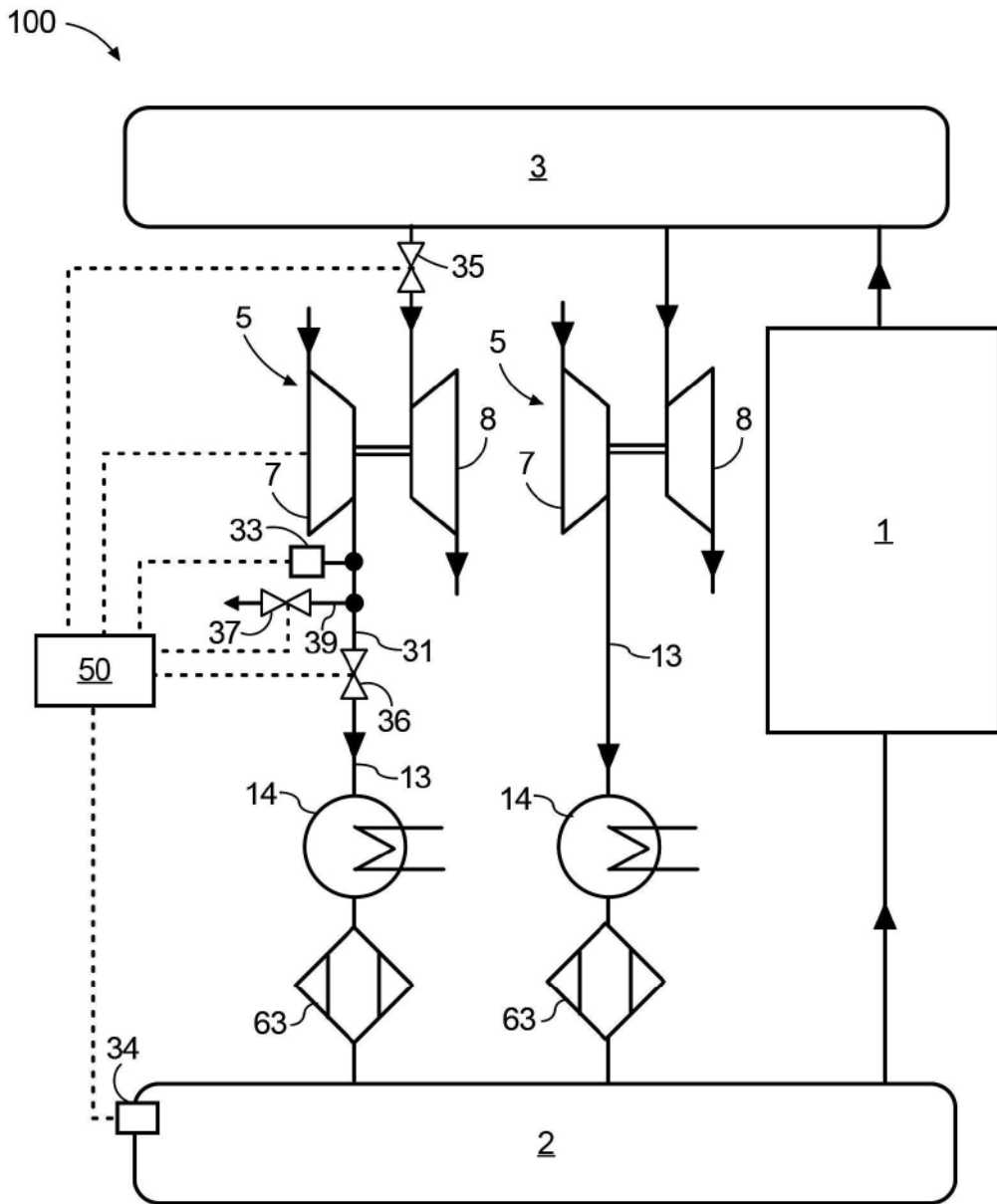


图7

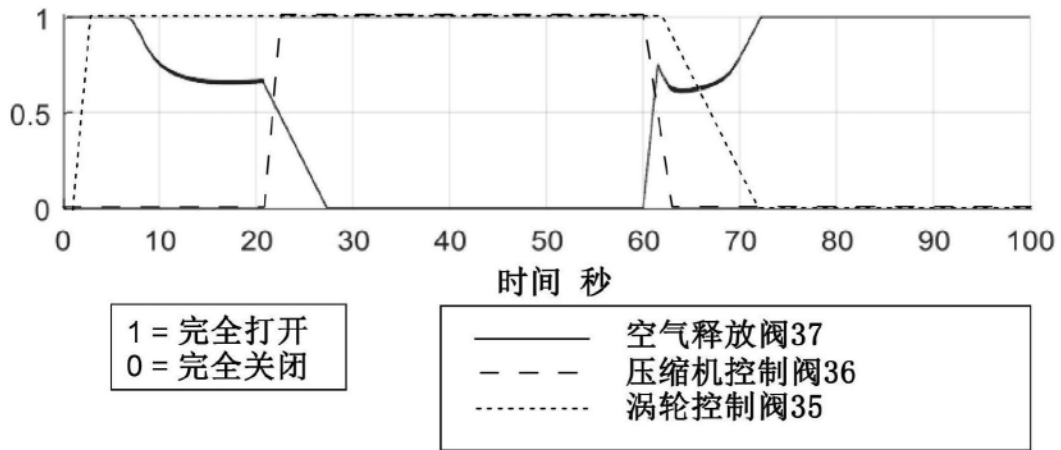


图8

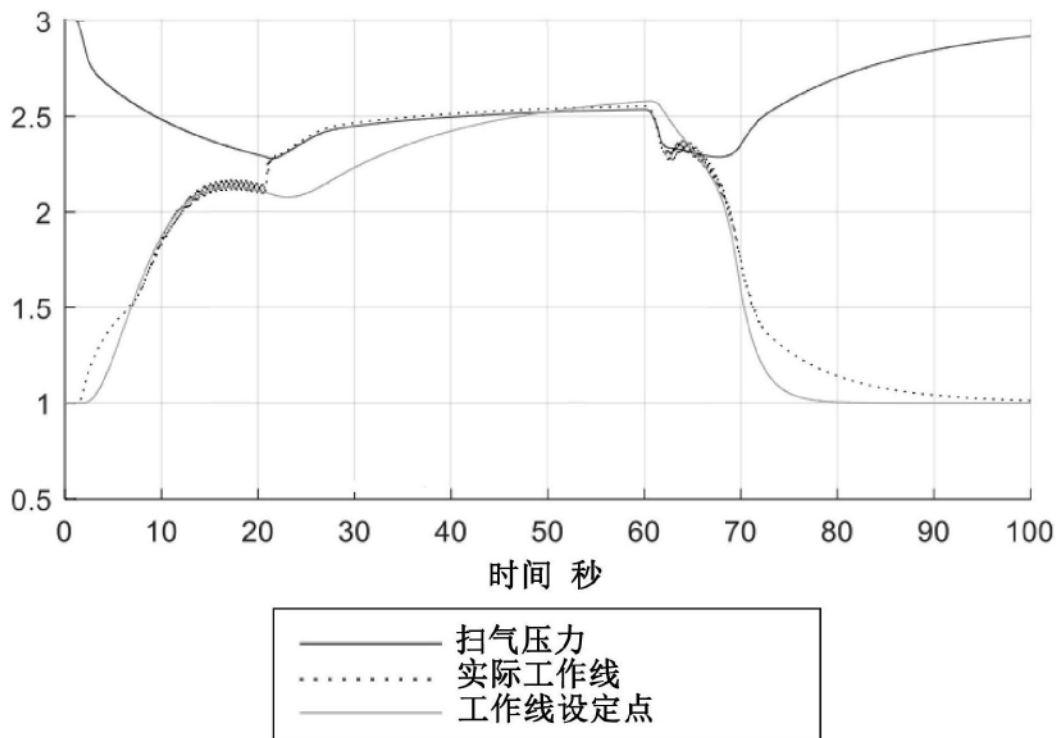


图9

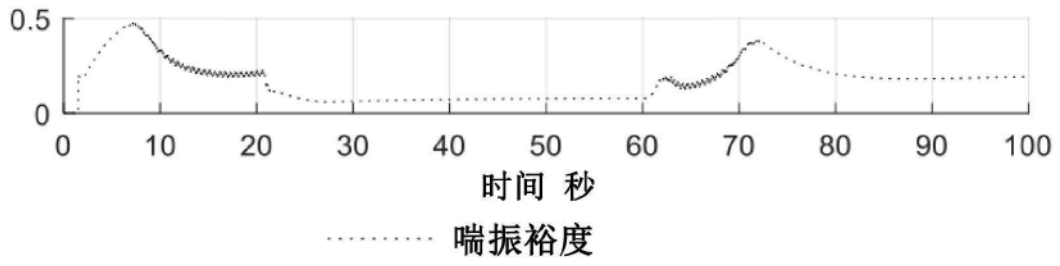


图10

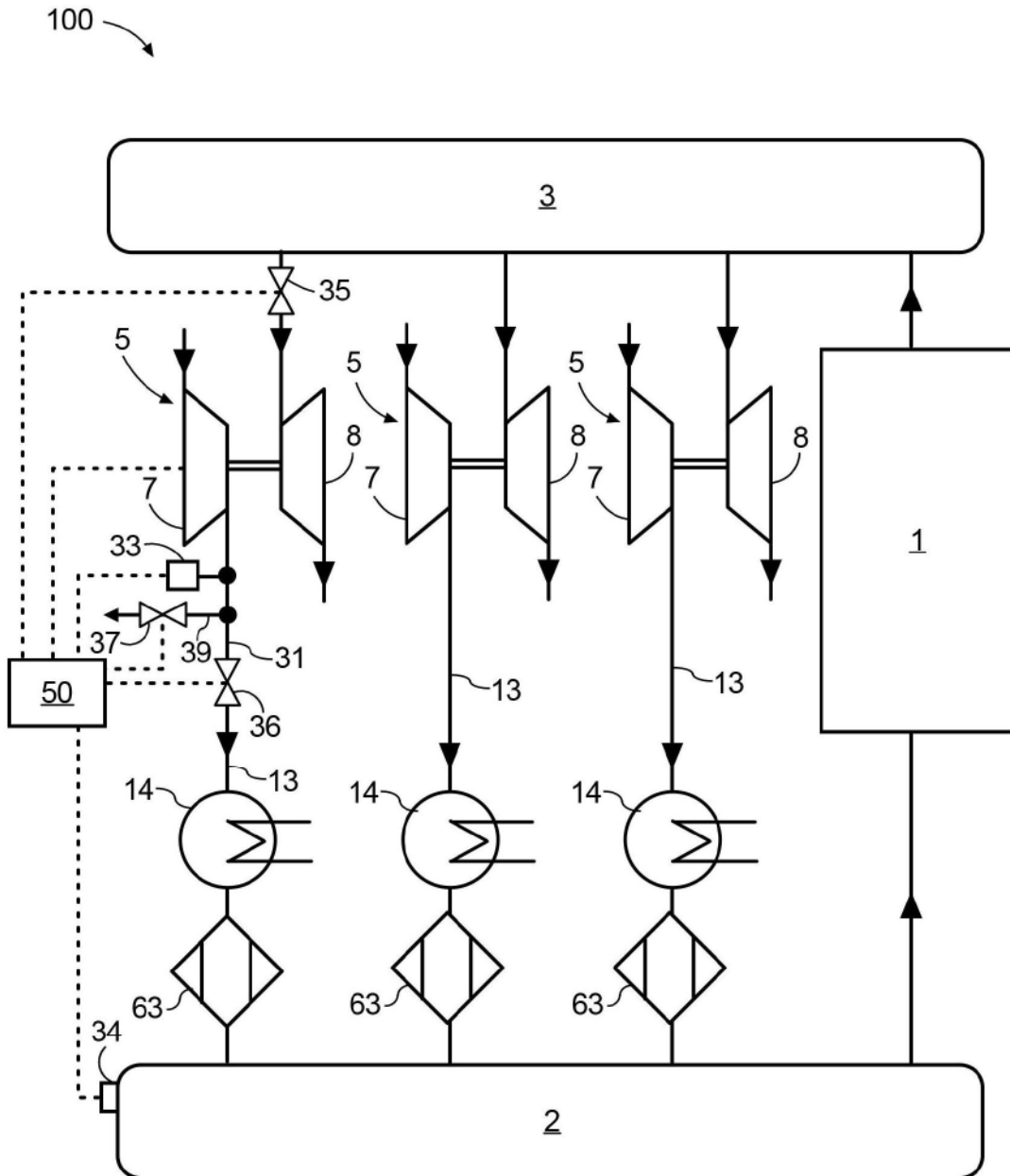


图11